

(19)



JAPANESE PATENT OFFICE

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **10243424 A**(43) Date of publication of application: **11.09.98**

(51) Int. Cl.

H04Q 3/52**G02B 6/00****H04B 10/02****H04Q 11/02**(21) Application number: **09355669**(22) Date of filing: **24.12.97**(30) Priority: **27.12.96 JP 08351247**(71) Applicant: **NIPPON TELEGR & TELEPH
CORP <NTT>**(72) Inventor: **ISHIDA OSAMU
SATO KENICHI
TAKACHIO NOBORU****(54) OPTICAL CROSS CONNECT SYSTEM**

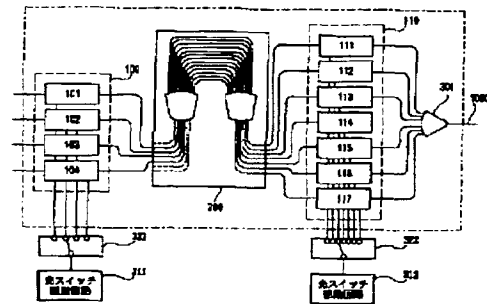
(57) Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To reduce the size and the power consumption by adopting the configuration for the system such that a 1st optical switching means passes only a wavelength multiplex light through any of light guide paths and a 2nd optical switching means passes an optical signal through any of light guide paths connecting to a wavelength router so as to decrease the number of drive circuits.

SOLUTION: An optical switch element array 100 selects any of 4 input optical fibers, an array guide path grating wavelength router 200 demultiplexes a wavelength multiplex light propagated through the input optical fiber depending on an input port and the wavelength of the light, an optical switch element array 110 selects one of the demultiplexed optical signals and guides the selected signal to a multi-mode optical fiber 1000 being an output destination of an optical mode combiner 301. An optional optical signal is selected among in total 16 optical signals propagated through the 4 input optical fibers and outputted. Thus, n-sets of optical signals at maximum are wavelength- multiplexed in m (an integer

being 2 or over) pairs of input output optical fibers respectively in this way.

COPYRIGHT: (C)1998,JPO



(51)Int.Cl.⁶

識別記号

F I

H 0 4 Q 3/52

H 0 4 Q 3/52

C

G 0 2 B 6/00

11/02

H 0 4 B 10/02

G 0 2 B 6/00

C

H 0 4 Q 11/02

H 0 4 B 9/00

T

審査請求 未請求 請求項の数7 O L (全 15 頁)

(21)出願番号

特願平9-355669

(22)出願日

平成9年(1997)12月24日

(31)優先権主張番号

特願平8-351247

(32)優先日

平8(1996)12月27日

(33)優先権主張国

日本 (J P)

(71)出願人 000004226

日本電信電話株式会社

東京都新宿区西新宿三丁目19番2号

(72)発明者 石田 修

東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日本
電信電話株式会社内

(72)発明者 佐藤 健一

東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日本
電信電話株式会社内

(72)発明者 高知尾 昇

東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日本
電信電話株式会社内

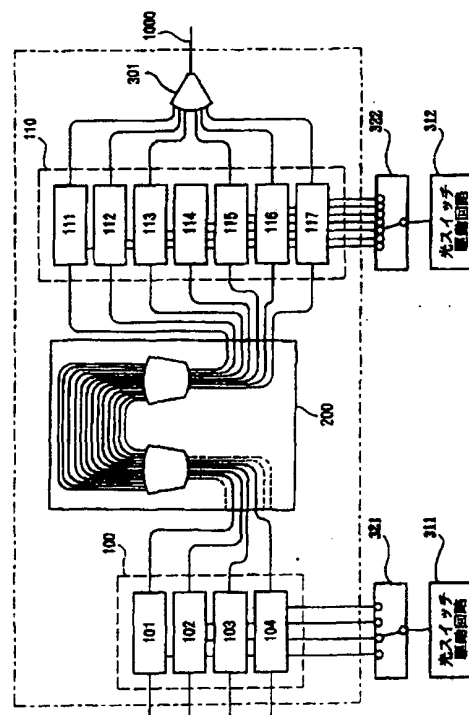
(74)代理人 弁理士 志賀 正武

(54)【発明の名称】 光クロスコネクトシステム

(57)【要約】

【課題】 消光比の低い同一種類の光スイッチと少ない数の光スイッチ駆動回路で構成できる光信号選択手段を有する構成を実現する。

【解決手段】 光信号選択手段411~444が、複数の光導波路の1つを通る波長多重光のみを通過させる光スイッチ素子アレイ100と、通過した波長多重光を複数の異なる波長を有する光信号に分波し、これら分波された光信号をそれぞれ異なる出力ポートへ出力する波長ルータであって、分波された各光信号の出力先が入力ポート毎に異なるルーティング特性を有する波長ルータ200と、波長ルータの出力ポートに接続された複数の光導波路から出力される光信号のうちの1つのみを通過させる光スイッチ素子アレイ110と、光スイッチ素子アレイ110の光導波路を結合する光モードコンバイナ301とを有する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 m本(mは2以上の整数)の入力光ファイバ中をそれぞれ伝搬する波長多重光を構成する光信号を再度波長多重してm本の出力光ファイバに交換出力する光クロスコネクシステムであって、

前記各入力光ファイバからそれぞれ入力される波長多重光を、複数の波長多重光に分岐して出力する複数の光分岐手段と、

前記光分岐手段により分岐された複数の波長多重光が入力される複数の光信号選択手段であって、各光信号選択手段には前記m本の入力光ファイバからの波長多重光がそれぞれ入力され、該光信号選択手段は入力されたm個の波長多重光のうちの1つを選択し、さらに選択された波長多重光から1波長の光信号を選択して出力する光信号選択手段と、

前記各光信号選択手段から出力される光信号をそれぞれ所定の波長の光信号に変換する複数の波長変換手段と、前記m本の出力光ファイバに接続され、前記各波長変換手段から出力される光信号を合波してこれら出力光ファイバに波長多重光をそれぞれ出力する複数の光合波手段とを具備し、

前記各光信号選択手段は、

前記m個の波長多重光に対応するm本の光通過路を有し、このうちの1つを通る波長多重光のみを通過させ、残りの光通過路を遮断する第1光スイッチング手段と、前記m本の光通過路にそれぞれ接続されるm本の入力ポートとp本の出力ポート(pは前記波長多重光の波長多重数以上の整数)とを有し、前記第1光スイッチング手段を通過した波長多重光を複数の異なる波長を有する光信号に分波し、これら分波された光信号をそれぞれ異なる出力ポートへ出力する波長ルータであって、分波された各光信号の出力先が出力ポート毎に異なるルーティング特性を有する波長ルータと、

前記波長ルータのp本の出力ポートに接続されるp本の光通過路を有し、このうちの1つを通る光信号のみを通過させ、残りの光通過路を遮断する第2光スイッチング手段と、

前記第2光スイッチング手段のp本の光通過路を1本の光通過路に結合する光合流手段とを具備することを特徴とする光クロスコネクシステム。

【請求項2】 前記各光信号選択手段の第1および第2の光スイッチング手段が1つの基板上に集積化されることを特徴とする請求項1に記載の光クロスコネクシステム。

【請求項3】 前記各光信号選択手段の波長ルータおよび光合流手段もまた前記基板上に集積化されることを特徴とする請求項2に記載の光クロスコネクシステム。

【請求項4】 前記光分岐手段と前記光信号選択手段とを結合する手段としての、入力側のm本のテーブ型n芯光ファイバ(nは前記波長多重光の波長多重数)と出力

側のn本のテーブ型m芯光ファイバとが互いに本質的に直交する方向で積層されて接続される2次元ファイバレイを有することを特徴とする請求項1記載の光クロスコネクシステム。

【請求項5】 前記各光信号選択手段の波長ルータはアレイ導波路格子波長ルータであることを特徴とする請求項1～4記載の光クロスコネクシステム。

【請求項6】 前記アレイ導波路格子波長ルータは反射型であることを特徴とする請求項5記載の光クロスコネクシステム。

【請求項7】 前記各光信号選択手段の波長ルータは周回波長ルータであることを特徴とする請求項5記載の光クロスコネクシステム。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、波長多重光通信ネットワークに用いられる光クロスコネクシステムに関する。

【0002】

【従来の技術】波長多重伝送システムは、波長の異なる複数の光キャリアをそれぞれ異なる信号で変調し、この複数の変調された光キャリア(複数の光信号)を多重化して1本の光ファイバ中を伝搬させる。このため、複数の光ファイバが集まる中継地点には、それぞれの光ファイバ中に波長多重されている複数の光信号を、波長によらずに任意に入れ替えられる光クロスコネクシステムが必要になる。

【0003】図18は、波長多重技術を用いた従来の光クロスコネクシステムの構成例を示す。ここでは、4対の入出力光ファイバを備え、それぞれの光ファイバ中には4個の光信号($\lambda_1 \sim \lambda_4$)が波長多重されているものとする。図18において、11～14は入力光ファイバ、21～24は1×4の光分波器、30は16×16の光スイッチ、711～744は波長変換器、81～84は4×1の光合波器、91～94は出力光ファイバである。

【0004】入力光ファイバ11～14中を伝搬してきた波長多重光は、それぞれ光分波器21～24で波長に応じて分波される。4個の光分波器21～24で分波された16個の光信号は、光スイッチ30によってそれぞれ16個ある波長変換器711～744のいずれかに導かれる。ここで、波長変換器711～714に導かれた光信号は、あらかじめ設定された波長 $\lambda_1 \sim \lambda_4$ の光信号に変換された後、光合波器81で多重化されて出力光ファイバ91中に出力される。他の波長変換器、光合波器においても同様である。こうして、複数の入力光ファイバ中を伝搬してくる各波長の光信号を、その元の波長によらずに自由に複数の出力光ファイバ中に振り分けることができる。

【0005】しかし、図18に示した構成では、入出力

光ファイバ対の数および波長数が大きい場合、光スイッチ30を構成するのが難しい。とくに、需要に応じて、例えば入出力光ファイバ1対ごとに増設できるように、光スイッチ部分を分割して構成することは困難である。このような問題点を解決した光クロスコネクシステムが、特開平3-219793号公報（波長分割光交換機）に記載されている。以下、この従来の光クロスコネクシステムについて簡単に説明する。光スイッチ部分の動作原理はm本（mは2以上の整数）の入力光ファイバ中を伝搬してきた波長多重光を分波せずにそのまま多数のm×1光スイッチに分配し、各光スイッチでいずれか一つの波長多重光を選択したのちに可変波長選択素子によっていずれか一つの光信号を選択することである。

【0006】図19は、この光信号選択手段を用いた従来の光クロスコネクシステムの構成例を示す。ここでは、4対の入出力光ファイバを備え、かつそれぞれの光ファイバ中には4個の光信号（ $\lambda_1 \sim \lambda_4$ ）が波長多重されているものとする。図19において、11～14は入力光ファイバ、31～34は1×16の光スプリッタ、511～544は4×1の光スイッチ、611～644は可変波長選択素子、711～744は波長変換器、81～84は光合波器、91～94は出力光ファイバである。

【0007】入力光ファイバ11～14中を伝搬してきた波長多重光は、波長多重光のまま光スプリッタ31～34でそれぞれ16個に分岐され、16個の光スイッチ511～544に導かれる。例えば、光スイッチ511には、光スプリッタ31～34のそれぞれの1つの出力が導かれる。

【0008】まず4×1の光スイッチ511～544でいずれか1つの光スプリッタからの出力を選択し、次いで可変波長選択素子611～644でその選択した出力の中に波長多重されている4個の光信号のうち所望の光信号を選択する。光スイッチ511～514および可変波長選択素子611～614を介して選択された光信号は、それぞれ対応する波長変換器711～714に導かれ、そこであらかじめ設定された波長 $\lambda_1 \sim \lambda_4$ の光信号に変換された後、光合波器81で多重化されて出力光ファイバ91中に出力される。他の波長変換器、光合波器においても同様である。こうして、複数の入力光ファイバ中を伝搬してくる各波長の光信号を、その波長によらずに自由に複数の出力光ファイバ中に振り分けることができる。

【0009】図19に示した従来のクロスコネクシステムでは、光スプリッタ31～34、4×1光スイッチ511～544、可変波長選択素子611～644により、図18における光分波器21～24と光スイッチ30の機能を実現している。4×1の光スイッチ511～544は、16×16の光スイッチ30より構成が簡単である。さらに、光スイッチ511～544と可変波長

選択素子611～644は、例えば入出力光ファイバ対ごとに増設できる。すなわち、光スイッチ部分を需要にあわせて段階的に増設することができる。

【0010】

【発明が解決しようとする課題】しかし、上記公報では、図19の光クロスコネクシステムを構成する4×1光スイッチや可変波長選択素子でのクロストークや、光スイッチ駆動回路については考慮されていない。図19に示す4×1の光スイッチ511～544は、図20に示すように3個の2×1光スイッチ素子151～153をツリー状に2段接続して構成できる。入力1～入力4のいずれか1つを選択する場合に、2つの2×1光スイッチ素子を切り替える必要がある。すなわち、少なくとも各段に1つの光スイッチ駆動回路311、312が必要である。一般に、 $2^p \times 1$ の光スイッチは、合計 $(2^p - 1)$ 個の2×1光スイッチ素子をp段に接続して構成され、少なくともp個の光スイッチ駆動回路が必要である。このため、光スイッチ駆動回路部分の寸法や消費電力が大きくなってしまう。

【0011】また、光スイッチ511～544では波長多重光のまま選択するので、クロストークには選択する光信号と波長が一致する成分を含む。この様子を図21に示す。図21では、太線の矢印が選択された波長多重光の流れを示す。図21のように選択された波長多重光以外に、選択する光信号と波長が一致するクロストーク成分が存在すると（破線矢印参照）、ビート雑音が発生して光信号のSN比を著しく劣化させる。このため、光スイッチ511～544には高い消光比が要求される。

【0012】文献1（Goldstein, et al., "Scaling limitations in transparent optical network due to low-level crosstalk", IEEE Photonics Technology Letters, Vol. 7, pp. 93-94, 1995）によれば、ビート雑音が発生するとき、あるビット誤り率において感度のパワーペナルティ ϵ_b [dB] を生じるクロストーク ϵ_c [dB] は、

$$\epsilon_b \text{ [dB]} = 10 \log \{ (1 - 10^{-PP/5}) / (4Q^2) \} \dots \dots (1)$$

で与えられる。ここで、Qはビット誤り率に応じて一意に定まる係数で、例えばビット誤り率 10^{-12} の場合には $Q=7$ である。したがって、例えばビット誤り率 10^{-12} でのパワーペナルティを0.5 dB以内に抑えるには、クロストークを-30 dB以下に抑える必要がある。4×1の光スイッチを2×1光スイッチ素子を2段に接続して構成する場合には、各段ごとにクロストークが加算されるので、2×1光スイッチ素子単体でのクロストークを-33 dBより小さくする必要がある。

【0013】また、光スイッチの種類によっては、この消光比を達成するのが困難な場合もある。例えば、熱光学効果を用いた石英導波路マッハツェンダ干渉計形の2×1光スイッチ素子では、方向性結合器の作製誤差により、2つの入力ポートのうち的一方に大きなクロスト

クが生じる。この問題点を文献2（小湊他、「マッハツェンダ干渉計で構成した導波路型WDM回路」、電子情報通信学会論文誌C-I, Vol. 73-C-I, No. 5, pp. 354-359, 1990）に従って簡単に説明する。

【0014】図22は、石英導波路マッハツェンダ干渉計形の 2×1 光スイッチ素子の基本構成を示す。この光スイッチ素子は、2つの方向性結合器161, 162と導波路長がそれぞれ L , $L + \Delta L$ の2本の単一モード導波路163, 164で構成される。一方の導波路上には薄膜ヒータ165が装着され、これで一方の導波路近傍の温度を変化させ、熱光学効果により等価屈折率を変化させてスイッチする。

【0015】この光スイッチ素子におけるポート1からポート3への透過率を T_1 、ポート2からポート3への透過率を T_2 とすると、それぞれ

$$T_1 = [(1-k_1)(1-k_2)]^{1/2} - [k_1 k_2]^{1/2} \quad (2)$$

$$+ 4[k_1 k_2 (1-k_1)(1-k_2)]^{1/2} \sin^2(\pi n \Delta L / \lambda_s) \dots\dots (2)$$

$$T_2 = [k_2(1-k_1)]^{1/2} - [k_1(1-k_2)]^{1/2} \quad (3)$$

$$+ 4[k_1 k_2 (1-k_1)(1-k_2)]^{1/2} \cos^2(\pi n \Delta L / \lambda_s) \dots\dots (3)$$

で与えられる。ここで k_1 , k_2 は、方向性結合器161, 162における光強度の結合率、 $n \Delta L$ は実効光路長差、 λ_s は光キャリアの波長である。なお、導波路の伝搬損失は十分小さいものとして無視している。

【0016】ところで、方向性結合器161, 162の結合率 k_1 , k_2 は、導波路の比屈折率差や導波路間隔に依存し、これらの作製誤差により設計値0.5からずれてしまう。しかし、これらの作製誤差は2つの方向性結合器にほぼ同等に作用するため、 $k_1 = k_2 = k$ は比較的容易に達成される。このとき、上記(2)式、(3)式は、それぞれ

$$T_1 = (1-2k)^2 + 4k(1-k) \sin^2(\pi n \Delta L / \lambda_s) \quad (4)$$

$$T_2 = 4k(1-k) \cos^2(\pi n \Delta L / \lambda_s) \quad (5)$$

と簡略化される。

【0017】ここで、導波路の実効光路長差 $n \Delta L$ は、薄膜ヒータを駆動しない状態で、例えば、

$$n \Delta L = \lambda_s / 2 \dots\dots (6)$$

を満たすように設計する。このとき、ポート1からポート3への透過率 T_1 、ポート2からポート3への透過率 T_2 は、いずれも結合率 k の値によらずにそれぞれ

$$T_1 = 1 \quad (7)$$

$$T_2 = 0 \quad (8)$$

となる。すなわち、薄膜ヒータを駆動しなければ、この光スイッチ素子はポート1に入力された λ_s 近傍の光であれば波長によらず出力する。このとき、ポート2からのクロストークは原理的には存在しない。

【0018】一方、薄膜ヒータを駆動して一方の導波路近傍の温度を高め、その導波路の等価屈折率を変化させて実効光路長差 $n \Delta L$ を

$$n \Delta L = \lambda_s \quad (9)$$

とすれば、ポート1からポート3への透過率 T_1 、ポ

ート2からポート3への透過率 T_2 は、それぞれ

$$T_1 = (1-2k)^2 \dots\dots (10)$$

$$T_2 = 4k(1-k) \dots\dots (11)$$

となる。すなわち、薄膜ヒータを駆動することで、この光スイッチ素子はポート2に入力された光信号を選択して出力する。しかし、このとき結合率 k の値が正確に0.5に一致しなければ、ポート1からのクロストーク $(1-2k)^2$ が生じる。前記の文献2には、例えば方向性結合器の導波路間隔が作製誤差により設計値から20%ずれるだけで、このクロストークは-16dB程度まで劣化することが報告されている。

【0019】一方、従来しばしば用いられるクロスコネクシステムの変波長選択素子として、図23に示すように、波長多重光を光分波器601で分波し、そのうち1つの光信号を 4×1 の光スイッチ602で選択して出力するものがある。図23においても、太線の矢印が選択された光信号の流れを示している。 4×1 の光スイッチ602を、 2×1 光スイッチ素子をツリー状に多段接続して構成すると、ここでも光スイッチ駆動回路部分の寸法や消費電力が大きくなってしまふ。

【0020】ただし、光スイッチ602では分波したもののから選択するため、クロストークには選択された光信号と波長の一致する成分が含まれないので、ビート雑音を生じない。したがって、クロストークによって生じるパワーペナルティは、強度雑音としての影響だけを考慮すればよい。このとき、あるビット誤り率においてパワーペナルティ pp [dB]を生じるクロストーク ϵ

ϵ [dB]は、

$$\epsilon_i [\text{dB}] = 5 \text{ Log} \{ (1-10^{-pp/5}) / Q^2 \} \dots\dots (12)$$

で与えられる。例えば、ビット誤り率 10^{-12} でのパワーペナルティを0.5dB以内に抑えるには、クロストークを-12dB以下にすればよい。例えば、 4×1 の光スイッチが 2×1 光スイッチ素子を2段に接続して構成される場合には、 2×1 光スイッチ素子単体でのクロストークを-15dB以下に抑えればよい。

【0021】このように、従来の光クロスコネクシステムでは、光スイッチ511~544として消光比の高い光スイッチを選別して用いる必要があり、コストが高くなる。また、図23を用いて説明したように可変波長選択素子にも光スイッチを利用すると、消光比への要求の異なる2種類の光スイッチを含むため、光スイッチの集積化が難しく、小型化や低コスト化が困難である。さらに必要な光スイッチ駆動回路の個数が多く、寸法と消費電力が大きくなって小型化できない可能性がある。

【0022】本発明は、複雑な $m \times 1$ 光スイッチが不要で、単純なゲート光スイッチだけで構成される上に各光スイッチの消光比が低くても良く、さらには少ない数の光スイッチ駆動回路で動作する、経済的な光クロスコネクシステムを提供することを目的とする。

【0023】

【課題を解決するための手段】上記課題を解決するために、本発明は、 m 本 (m は2以上の整数) の入力光ファイバ中をそれぞれ伝搬する波長多重光を構成する光信号を再度波長多重して m 本の出力光ファイバに交換出力する光クロスコネクシステムであって、(1) 前記各入力光ファイバからそれぞれ入力される波長多重光を、複数の波長多重光に分岐して出力する複数の光分岐手段と、(2) 前記光分岐手段により分岐された複数の波長多重光が入力される複数の光信号選択手段であって、各光信号選択手段には前記 m 本の入力ファイバからの波長多重光がそれぞれ入力され、該光信号選択手段は入力された m 本の波長多重光のうちの1つを選択し、さらに選択された波長多重光から1波長の光信号を選択して出力する光信号選択手段と、(3) 前記各光信号選択手段から出力される光信号をそれぞれ所定の波長の光信号に変換する複数の波長変換手段と、(4) 前記 m 本の出力光ファイバに接続され、前記各波長変換手段から出力される光信号を合波してこれら出力光ファイバに波長多重光をそれぞれ出力する複数の光合波手段とを具備し、前記各光信号選択手段は、(2-1) 前記 m 本の波長多重光に対応する m 本の光通過路を有し、このうちの1つを通る波長多重光のみを通過させ、残りの光通過路を遮断する第1光スイッチング手段と、(2-2) 前記 m 本の光通過路にそれぞれ接続される m 本の入力ポートと p 本の出力ポート (p は前記波長多重光の波長多重数以上の整数) とを有し、前記第1光スイッチング手段を通過した波長多重光を複数の異なる波長を有する光信号に分波し、これら分波された光信号をそれぞれ異なる出力ポートへ出力する波長ルータであって、分波された各光信号の出力先が出力ポート毎に異なるルーティング特性を有する波長ルータと、(2-3) 前記波長ルータの p 本の出力ポートに接続される p 本の光通過路を有し、このうちの1つを通る光信号のみを通過させ、残りの光通過路を遮断する第2光スイッチング手段と、(2-4) 前記第2光スイッチング手段の p 本の光通過路を1本の光通過路に結合する光合流手段とを具備する光クロスコネクシステムを提供する。

【0024】上記構成によれば、各光信号選択手段において、第1光スイッチング手段を経てただ1つの波長多重光が選択され、第2光スイッチング手段を経て上記波長多重光の中からただ1つの光信号が選択される。また、第1光スイッチング手段における m 本の光通過路(光導波路)に起因するクロストークのうちで、第2光スイッチング手段で選択される光信号と同じ波長の成分は、波長ルータにより第2光スイッチング手段の異なる光通過路(光導波路)に導かれるので、ビート雑音を生じない。このため、第1、第2光スイッチング手段とも消光比の低い光スイッチで構成できる。また、これら両光スイッチング手段はいずれも複数の光通過路を有し、そのうちの1つのみを通過可能とする同様の機能を有す

るので、同一種類の光スイッチで構成できる。

【0025】なお、第1の光スイッチング手段と波長ルータの組み合わせでビート雑音の発生が抑圧できる技術については、文献3(石田他、「大容量スイッチングを実現する光並列接続多波長スターネットワーク(POLIMS Net)」、1996年電子情報通信学会通信ソサイティ大会B-1072)に記載されている。この文献3には、複数の光分岐手段と、該光分岐手段の各出力に接続される光通過路を有する第1光スイッチング手段と、これら光通過路にそれぞれ接続される入力ポートを有する波長ルータと、この波長ルータの複数の出力ポートにそれぞれ接続された複数の光受信器を備えた光ネットワークが記述されている。また、同様の構成が特開平9-247179(光受信器およびそれを用いた光ネットワーク)にも詳細に記載されている。

【0026】従って、本発明は、第1光スイッチング手段と波長ルータに、第2光スイッチング手段と光合流手段を加えることにより、従来の $m \times 1$ 光スイッチおよび可変波長選択手段(図19の構成では $m=4$)とは異なる光信号選択手段を実現したものと言える。即ち、第1光スイッチング手段と波長ルータとの組み合わせは、そのままでは $m \times 1$ 光スイッチとして機能しないが、波長ルータのルーティング特性を巧妙に利用して上記可変波長選択手段の機能を付加することにより、光信号選択手段に適用可能としたものである。

【0027】

【発明の実施の形態】

(光クロスコネクシステムの基本構成) 図1は、本発明の光クロスコネクシステムの基本構成を示す。ここでは、4対の入出力光ファイバが接続され、各光ファイバにそれぞれ波長の異なる4個の光信号が波長多重される光クロスコネクシステムを示す。

【0028】図1において、11~14は入力光ファイバ、31~34は 1×16 の光スプリッタ、411~444は光信号選択手段、711~744は波長変換器、81~84は 4×1 の光合波器、91~94は出力光ファイバである。各入力光ファイバ11~14中を伝搬してきた波長多重光は、波長多重光のまま各光スプリッタ31~34で16分岐され、16個の光信号選択手段411~444にそれぞれ導かれる。たとえば、光信号選択手段411には、4個の 1×16 光スプリッタ31~34のそれぞれの1つの出力が導かれる。一方、各光信号選択手段411~414で選択された光信号は、波長変換器711~714に導かれ、そこであらかじめ設定された波長 $\lambda_1 \sim \lambda_4$ の光信号に変換された後、光合波器81で多重化されて出力光ファイバ91に出力される。その他の波長変換器および光合波器においても同様である。

【0029】(光信号選択手段の第1の構成例) 図2は、本発明の特徴である光信号選択手段の第1の構成例

を示す。図2において、光信号選択手段は、光スイッチ素子アレイ100、アレイ導波路格子波長ルータ200、光スイッチ素子アレイ110、 7×1 の光モードコンバイナ301、光スイッチ駆動回路311、312、セクタ321、322により構成される。また、光スイッチ素子アレイ100、110は、それぞれ4個と7個の光スイッチ素子101~104、111~117から構成される。この各光スイッチ素子は、図22に示した構成を持ち、マッハツェンダ干渉計の一方の導波路の上面には薄膜ヒータが装着され、それぞれセクタ321、322を介して光スイッチ駆動回路311、312により駆動される。

【0030】図3は、アレイ導波路格子波長ルータ200の構成を示す。この波長ルータは、少なくとも4本の入力導波路(11~14)201と、第1のスラブ導波路202と、導波路長がそれぞれ一定値だけ異なる導波路アレイ203と、第2のスラブ導波路204と、7本の出力導波路(03~05)205から構成される。たとえば、図1の光信号選択手段411において、光スプリッタ31~34の各1つの分岐出力は、図2の光スイッチ素子101~104(ここでは、マッハツェンダ干渉計形 2×1 光スイッチ素子を適用して説明する)のポート2(図22参照)に入力される。この光スイッチ素子101~104のポート3は、アレイ導波路格子波長ルータ200の入力導波路201の1つに接続される。一方、アレイ導波路格子波長ルータ200の7本の出力導波路(03~05)205は、それぞれ光スイッチ素子111~117のポート2に接続される。この光スイッチ素子111~117のポート3は、光モードコンバイナ301の7つの入力にそれぞれ接続され、その出力が光信号選択手段411の出力となる。

【0031】次に、図2に示した光信号選択手段の各部の動作について説明する。光スイッチ駆動回路311は、4個の光スイッチ素子101~104のうち、セクタ321で選択されたいずれか1つの光スイッチ素子の薄膜ヒータを駆動して、その光スイッチ素子のポート2に入力された波長多重光をポート3に導く。このとき、残りの3個の光スイッチ素子の薄膜ヒータは駆動されないで、これらの光スイッチ素子のポート3に波長多重光は出力されない。こうして、アレイ導波路格子波長ルータ200の入力導波路201のいずれか1本だけに波長多重光が入力される。

【0032】ここで、アレイ導波路格子波長ルータ200は、入力導波路 I_i ($i=1 \sim 4$) に波長 λ_k ($k=1 \sim 4$) の光信号が入力されると、出力導波路 O_{k-i} にルーティングされるように設計する(文献4、高橋他、"Transmission Characteristics of Arrayed Waveguide N \times N Wavelength Multiplexer", Journal of Lightwave Technology, IEEE, Vol.13, No.3, pp. 447-455, 1995)。すなわち、アレイ導波路格子波長ルータ200

は、図4に示す波長ルーティング特性をもつ。たとえば、入力導波路 I_2 に波長多重光が入力されると、波長 λ_1 の光信号は出力導波路 O_{-1} に、波長 λ_2 の光信号は出力導波路 O_0 に、波長 λ_3 の光信号は出力導波路 O_1 に、波長 λ_4 の光信号は出力導波路 O_2 にそれぞれ分離されて出力される。したがって、4本の入力導波路のうちのいずれか1つに入力された波長多重光($\lambda_1 \sim \lambda_4$)は、その入力導波路と波長に応じて7本の出力導波路のうちの4本にそれぞれ出力される(斜線部参照)。

10 【0033】光スイッチ駆動回路312は、7個の光スイッチ素子111~117のうち、セクタ322で選択されたいずれか1つの光スイッチ素子の薄膜ヒータを駆動して、その光スイッチ素子のポート2に入力された光信号をその光スイッチ素子のポート3に導く。このとき、残りの6個の光スイッチ素子の薄膜ヒータは駆動されないで、これらの光スイッチ素子から光信号は出力されない。こうして、光モードコンバイナ301の7本の入力導波路のいずれか1本だけに光信号が入力される。

20 【0034】光モードコンバイナ301は、7つのシングルモード光ファイバを伝搬してきた光信号を単一のマルチモード光ファイバ(符号1000参照)に結合する光デバイスであり、例えば文献5(花田他、「石英導波路 8×1 光モードコンバイナ」、1996年電子情報通信学会エレクトロニクスソサエティ大会C-160)にその構成が記載されている。それぞれのシングルモード光ファイバからマルチモード光ファイバへの結合損失は2dB以下にできる。

30 【0035】このように、光信号選択手段は、光スイッチ素子アレイ100で4本の入力光ファイバのいずれか1つを選択し、その入力光ファイバ中を伝搬してくる波長多重光をアレイ導波路格子波長ルータ200でその入力ポートと波長に応じて分岐し、そのうち1つの光信号を光スイッチ素子アレイ110で選択して光モードコンバイナ301の出力先であるマルチモード光ファイバ1000に導くことにより、4本の入力光ファイバ中を伝搬してくる合計16個の光信号のうちから任意の1つの光信号を選択して出力する。

40 【0036】なお、本構成例では、4対の入出力光ファイバ中にそれぞれ最大で4個の光信号が波長多重される光クロスコネクシステムについて説明したが、同様に、最大で m 対の入出力光ファイバ中にそれぞれ最大で n 個の光信号が波長多重される光クロスコネクシステムを構成できる。その光クロスコネクシステムは、 m 本の入力光ファイバそれぞれに対応した $1 \times (m \cdot n)$ の光スプリッタと、 $m \cdot n$ 個の光信号選択手段と、 $m \cdot n$ 個の波長変換器と、 m 本の出力光ファイバそれぞれに対応した $n \times 1$ の光合波器を備える。

50 【0037】また、各光信号選択手段は、 m 個の光スイッチ素子からなる第1の光スイッチ素子アレイと、アレ

イ導波路格子波長ルータと、 $(m+n-1)$ 個の光スイッチ素子からなる第2の光スイッチ素子アレイと、 $(m+n-1) \times 1$ の光モードコンバイナから構成される。さらに、アレイ導波路格子波長ルータは、 m 本の入力導波路 $I_1 \sim I_m$ と、 $(m+n-1)$ 本の出力導波路 $O_{1-m} \sim O_{n-1}$ を有し、入力導波路 I_i ($i=1 \sim m$)に波長 λ_k ($k=1 \sim n$)の光信号が入力されたときに出力導波路 O_{k-i} にルーティングされるように設計する。このとき、 m 本の入力導波路のうちいずれか1つに入力された波長多重光 (n 個の光信号)は、その入力導波路と波長に応じて $(m+n-1)$ 本の出力導波路のうち n 本にそれぞれ分波されて出力される。

【0038】次に、図2に示した光信号選択手段の利点について説明する。まず、各光スイッチ素子においては1つの入力ポートと1つの出力ポートしか使用しない。したがって、図22を用いて説明した従来のマッハツェンダ干渉計形 2×1 光スイッチ素子において、作製誤差によってクロストークの生じ易いポート1ではなく、原理的にクロストークの生じないポート2だけを利用することができる。このため、作製誤差で消光比が劣化していない光スイッチ素子を選別して用いる必要がなく、実質的に歩留りが上がることになり、コストを削減できる。

【0039】また、光スイッチ素子アレイ100で生じるクロストークのうちで、光スイッチ素子アレイ110で選択される光信号と同じ波長の成分は、アレイ導波路格子波長ルータ200により分波されるので、ビート雑音を発生しない。この様子を図5に示す。ここでは、光スイッチ素子102と113が駆動され、入力光ファイバ12中を伝搬してきた波長 λ_1 の光信号を選択する例を示す。

【0040】ここで、駆動されていない光スイッチ素子を透過してしまう成分がクロストークとなる。光スイッチ素子アレイ100におけるクロストークは、光スイッチ素子101、103、104からアレイ導波路格子波長ルータ200の入力導波路 I_1 、 I_3 、 I_4 に導かれる。このクロストークのうちで波長 λ_1 の成分は、アレイ導波路格子波長ルータ200の出力導波路 O_0 、 O_{-2} 、 O_{-3} から光スイッチ素子114、112、111に導かれ、駆動されている光スイッチ素子113には入力されない。このように、選択されている光信号と同じ波長のクロストーク成分が重ならないので、ビート雑音は発生しない。したがって、図21を用いて説明した従来例とは異なり、光スイッチ素子アレイ100は高い消光比を必要としない。

【0041】図5において、光スイッチ素子アレイ100、110における光スイッチ素子あたりのクロストークをそれぞれ e_1 、 e_2 とすると、選択される光信号と同じ波長のクロストークは $(m-1) \cdot e_1 \cdot e_2$ である (m は入出力光ファイバ対の数)。これを -30 dB以

下とするには、 $m=4$ の場合で $e_1=e_2 < -18$ dBとすればよい。一方、異なる波長のクロストークは、 $(m-1) \cdot e_1 + (n-1) \cdot e_2 + (m-1) \cdot (n-1) \cdot e_1 \cdot e_2$ であるので (n は波長数)、これを -12 dB以下とするには、 $n=4$ の場合で $e_1=e_2 < -20$ dBとすればよい。したがって、図5に示した構成において $e_1=e_2 < -20$ dBとすれば、ビット誤り率 10^{-12} におけるパワーペナルティをほぼ 0.5 dB以下に抑えることができる。

【0042】さらに、図2に示した本発明の光信号選択手段では、光スイッチ素子アレイ100、110のうちで、それぞれいずれか1つの光スイッチ素子を駆動してオン状態とすればよいので、光スイッチ駆動回路はたった2つでよく、寸法や消費電力を小さく抑えることができる。ここで、種々の m 、 n の値について、本発明に関わる光信号選択手段において、光スイッチ素子に必要な消光比と光スイッチ駆動回路の必要個数を計算した結果をそれぞれ図6、図7に示す。比較のため、図19に示した従来の光クロスコネクトシステムにおいて、 2×1 光スイッチ素子を用いて構成した場合に必要な消光比と光スイッチ駆動回路の必要個数も計算した。これらの図において、 n は各光ファイバに関する波長数を示す。図6に示すように、光スイッチ素子あたりに要求される消光比は 10 dBほど緩和される。また、図7に示すように、本発明の光信号選択手段は、消光比 -25 dB ~ -20 dB程度の1種類の光スイッチ素子だけで構成できることがわかる。また、光スイッチ駆動回路の必要個数は、入出力光ファイバ対の数 m および波長数 n に関わりなく2つでよく、寸法や消費電力を小さく抑えることができる。

【0043】(光スプリッタの他の構成例) 図8は、 1×16 の光スプリッタ31 \sim 34を分割した構成例を示す。本構成は、図1に示す 1×16 の光スプリッタ31 \sim 34をそれぞれ5つの 1×4 の光スプリッタ35 $_1 \sim 35_5$ 、36 $_1 \sim 36_5$ 、37 $_1 \sim 37_5$ 、38 $_1 \sim 38_5$ で構成したものである。一般には、 $1 \times (m \cdot n)$ の光スプリッタを、 $1 \times m$ の光スプリッタと m 個の $1 \times n$ 光スプリッタから構成することができる。この結果、入力光ファイバと各光信号選択手段との光配線が簡便になる。さらに、入出力光ファイバ1対ごとに光スプリッタとこの光配線を増設できる利点がある。

【0044】次に、図24は、図8中破線で囲んだ5箇所それぞれに関する、光ファイバ配線の実施例である。テーパー型4芯光ファイバ(#1 \sim #4)を4層積み重ねて2次元ファイバアレイを構成し、係るファイバアレイ2組(#1 \sim #4、及び、#1' \sim #4')を相互に90度傾けて接続することにより、上記配線を容易に達成することができる。一般には、入力側の n 芯光ファイバアレイを m 層積み重ねた2次元ファイバアレイと、 m 芯光ファイバアレイを n 層積み重ねた2次元ファイバアレイ

とを、互いに本質的に直交するように90度傾けて接続すれば所望の光配線を容易に得ることができる。

【0045】図1の1×16光スプリッタ31～34に代えて(図8のように)多数の1×4光スプリッタを設ける代わりに、図25に、1×16光スプリッタ31～34と上述した構成の2次元ファイバアレイ801～804とを設けた配線例を示す。ここでは、1×16光スプリッタ31～34の各出力をテープ型4芯光ファイバ×4で構成し、図に示すような配線を介して光信号選択手段411～444の各々に1本のテープ型4芯光ファイバを接続している。即ち、2次元ファイバアレイ801～804を用いることで、1×16光スプリッタを多数の1×4光スプリッタに分割せずに、光スプリッタの分割数の増加に伴う過剰損失の増加を引き起こすことなく、簡便で増設が容易な光配線が可能になる。

【0046】(波長変換器の構成例)波長変換器711～744は、入力された任意の波長の光信号をあらかじめ設定された波長の光信号に変換する機能をもてよい。たとえば、光受信器で識別再生される電気信号で光送信器を駆動する光再生中継器、または半導体素子を利用した全光中継器を用いてもよい。また、波長の異なる複数の光キャリアを発生してその出力を各波長変換器に分配する共通光源部を備え、各波長変換器として光受信器と、分配された光キャリアを変調する光変調器を用いて構成してもよい。この構成例を図9に示す。

【0047】図9において、共通光源部7000は、半導体レーザアレイ701、1×4の光スプリッタ702～705により構成される。波長変換器711～714(～744)は、それぞれ光受信器706および光変調器707により構成される。この場合、光変調器は波長によらず同じ光部品を利用できるので、各波長変換器が全て共通の光部品で構成される。したがって、図1において、各光信号選択手段411～444とそれぞれ対応する波長変換器711～744を同一の筐体に収容すれば、16個の筐体はすべて同一の光部品から構成されるので、増設時や障害時に任意の筐体を入れ替えることができる。

【0048】(光合波器の他の構成例)光合波器81～84は、波長の異なる4つの光信号を1本の光ファイバ中に多重化する機能をもてよく、波長依存性のない、小型で安価な光カプラを用いてもよい。ただし、この場合には合流損失 $10 \cdot \log n$ (n は波長数)を被る。また、波長変換器に障害が発生してその出力する光信号の波長が変動した場合に、多重化される他の光信号に悪影響を及ぼす可能性がある。

【0049】(光スイッチ素子の他の構成例および他の駆動例)図2において、各光スイッチ素子としてマッハツェンダ干渉計形光スイッチ素子を用いた場合について説明したが、波長多重光をオン/オフでき、かつ図6に示すような所望の消光比を有する光スイッチであればな

んでもよい。たとえば、光ファイバに超軽量な磁性膜パイプを装着し、これを電磁力で動かして光を断続させる自己保持型単一モード光ファイバスイッチが利用できる。この光スイッチの詳細については、文献6(長岡、「小型・高性能自己保持型単一モード光ファイバスイッチの開発」、電子情報通信学会技術研究報告、OQE93-119, OCS93-55, pp. 67-72, 1993)に記載されている。さらに、熱光学効果を用いたY分岐型光スイッチや半導体光増幅器を光ゲートとして用いた構成などを用いてもよい。

【0050】また、図2において、各光スイッチ素子アレイ100、110は、光スイッチ駆動回路311、312とセレクトアレイ321、322により駆動されるが、セレクトアレイを備えずに、各光スイッチ素子それぞれに光スイッチ駆動回路を備えてもよい。光スイッチ駆動回路の数は増えるが、オフ状態を微妙に調整できるので、消光比を改善できる。ただし、オン状態になる光スイッチ素子は1つなので、この場合でも消費電力は小さく抑えることができる。

【0051】(光合流手段の他の構成例)図2において、光合流手段として、複数のシングルモード光ファイバ中を伝搬する光信号を単一のマルチモード光ファイバに結合する光モードコンバイナ301を用いたが、通常のカプラを用いて単一のシングルモード光ファイバに結合してもよい。この場合には原理的な合流損失 $10 \cdot \log(n+m-1)$ [dB]を被る。

【0052】(光信号選択手段の第2の構成例)図2に示すアレイ導波路格子波長ルータ200として、周回波長ルータを用いれば、光スイッチ素子アレイ110の光スイッチ素子の数を減らすことができる。ここで、周回波長ルータとは、波長数 n に応じた n 対の入出力ポートを有し、その入出力ポート間での波長ルーティング特性に周回性(ラテン方陣特性)を有するものである。以下、図10、図11を用いて説明する。

【0053】図10は、この周回波長ルータを用いた光信号選択手段の第2の構成例を示す。図2に示す第1の構成例との違いは、アレイ導波路格子波長ルータ210が4つの出力導波路 $O_0 \sim O_3$ を備え、光スイッチ素子アレイ110が4つの光スイッチ素子114～117から構成され、光合流手段として4×1の光モードコンバイナ302を備えるところにある。

【0054】アレイ導波路格子波長ルータ210は、入力導波路 I_i ($i=1 \sim m$)に波長 λ_k (ただし $k=1 \sim 4$)の光信号が入力されると出力導波路 $O_{(k-i) \bmod 4}$ にルーティングされるように設計する。ここで、 $x \bmod y$ は、 x を y で割った余り(剰余)を表す。すなわち、アレイ導波路格子波長ルータ210は、図11に示す波長ルーティング特性をもち、例えば入力導波路 I_2 に $\lambda_1 \sim \lambda_4$ の波長多重光が入力されると、波長 λ_1 の光信号は出力導波路 O_3 に、波長 λ_2 の光信号は出力導波路

O_0 に、波長 λ_3 の光信号は出力導波路 O_1 に、波長 λ_4 の光信号は出力導波路 O_2 にそれぞれ出力される。したがって、4本の入力導波路のうちのいずれか1つに inputs の波長多重された4つの光信号は、その入力導波路と波長に応じて4本の出力導波路にそれぞれ分波して出力される。なお、周回波長ルータの詳細とその設計については、前記の文献4に詳述されている。

【0055】周回波長ルータを用いれば、一般に、最大で n 対の入出力光ファイバ中にそれぞれ最大で n 個の光信号が波長多重される光クロスコネクトシステムが、図1と同様に構成できる。このとき、 n 本の入力光ファイバそれぞれに対応した $1 \times n^2$ の光スプリッタと、 n^2 個の光信号選択手段と、 n^2 個の波長変換器と、 n 本の出力光ファイバそれぞれに対応した $n \times 1$ の光合波器とを備える。各光信号選択手段は、 n 個の光スイッチ素子からなる第1の光スイッチ素子アレイと、周回波長ルータと、 n 個の光スイッチ素子からなる第2の光スイッチ素子アレイと、 $n \times 1$ の光モードコンバイナから構成される。この周回波長ルータは、 n 個の入力ポート $I_1 \sim I_n$ と、 n 個の出力ポート $O_0 \sim O_{n-1}$ を有し、入力ポート I_i に波長 λ_k ($k=1 \sim n$) の光信号が入力されると、出力ポート $O_{(k-1) \bmod n}$ にルーティングされるように設計する。したがって、 n 個の入力ポートのうちいずれか1つに inputs の波長多重された n 個の光信号は、その入力ポートと波長に応じて n 本の出力ポートにそれぞれ出力される。

【0056】このように周回波長ルータを用いた第2の構成例では、光信号選択手段の第1の構成例で説明した効果に加えて、光スイッチ素子の数を減ずることができる効果を有する。また、第2の構成例では、波長ルータとして図11に示す波長ルーティング特性を有するアレイ導波路格子波長ルータ210を用いているが、図12に示す複数の光分波器221~224および複数の光合波器225~228を組み合わせて構成しても同様の機能を実現できる。光分波器221~224と光合波器225~228との間の配線は、図11に示す波長ルーティング特性に対応するものである。すなわち、例えば光分波器221の4つの出力は、光合波器225の第1の入力ポートから光合波器228の第4の入力ポートまで周回的に接続される。なお、光損失の影響が無視できる場合には、光分波器を光スプリッタに置き換えたり、光合波器を光合流器に置き換えてもよい。

【0057】また、波長ルータのルーティング特性は図11に示す特性に限定するものではなく、例えば図13に示す特性でも同様の光信号選択手段を構成することができる。なお、図11および図13に示すように、同一行または同一列にすべて異なる記号（ここでは $\lambda_1 \sim \lambda_4$ ）が配される行列はラテン方陣と呼ばれ、他にも多数存在することが知られており（文献7：R. A. Barry, et al., "Latin Routers, Design and Implementatio

n", Journal of Lightwave Technology, IEEE, Vol. 11, No. 5/6, pp. 891-899, 1993(1993)）、そのいずれを用いてもよい。

【0058】（光信号選択手段の第3の構成例）図14は、本発明の特徴である光信号選択手段の第3の構成例を示す。図2に示す第1の構成例との違いは、アレイ導波路格子波長ルータ200の入力導波路と出力導波路を同一方向に取り出し、第1と第2の光スイッチング手段である光スイッチ素子アレイ100、110の代わりに、11個の光スイッチ素子からなる単一の光スイッチ素子アレイ120を用いるところにある。

【0059】本構成例では、上述した利点に加えて、光スイッチ素子アレイの数が1つですみ、光部品点数が減る。また、アレイ導波路格子波長ルータ200との接続が一箇所ですみ、アセンブリ工程も減る。また、本発明により、光信号選択手段が消光比の低い単一種類の光スイッチ素子だけで構成できるようになったので、光スイッチ素子の集積比が可能になり、小型化と低コスト化を図ることができる。なお、本構成例においても、第2の構成例と同様の周回波長ルータを用いてもよい。

【0060】また、図14に示した光信号選択手段において、点数で囲む光スイッチ素子アレイ120、アレイ導波路格子波長ルータ200、 7×1 の光モードコンバイナ301は、すべて石英導波路平面光回路で作製できる。すなわち、それらを単一の石英基板上に集積化することができる。この場合、光部品点数およびアセンブリ工程はさらに減り、より一層の小型化・低コスト化が期待できる。

【0061】（光信号選択手段の第4の構成例）図15は、本発明の特徴である光信号選択手段の第4の構成例を示す。図14に示す第3の構成例との違いは、アレイ導波路格子波長ルータ200に代えて、反射型アレイ導波路格子波長ルータ220を用いるところにある。この結果、上述した利点に加えて、より一層の小型化が期待できる。

【0062】ここで、反射型アレイ導波路波長格子ルータ220は、図3を用いて説明したアレイ導波路格子波長ルータの対称性を利用し、導波路アレイ203の中間に高反射膜206を付加することで、単一のスラブ導波路だけで波長ルータを実現したものである。以下、図16、図17を用いてこの反射型アレイ導波路格子波長ルータ220の原理について説明する。詳細については、例えば文献8（井上他、「波長ルーティング機能付き光分岐回路」、電子情報通信学会技術研究報告、OPE96-2, pp. 7-12, 1996）に記載されている。

【0063】図16(a)は、 11×11 のアレイ導波路格子波長ルータの構成例である。11本の入力導波路 $I_1 \sim I_{11}$ と11本の出力導波路 $O_1 \sim O_{11}$ を有し、入力導波路 I_i ($i=1 \sim 11$) に波長 λ_k の光信号が入力されると出力導波路 O_{k-i+8} にルーティングされるように

設計する。すなわち、図17に示す波長ルーティング特性をもつ。このとき、入力導波路のうちの $I_1 \sim I_4$ のいずれか1つに入力された波長多重光(4つの光信号 $\lambda_1 \sim \lambda_4$)は、その入力導波路と波長に応じて出力導波路のうちの $O_5 \sim O_{11}$ にそれぞれ分離されて出力される。

【0064】ここで、図16(a)に示したアレイ導波路格子波長ルータは、一点鎖線で示した中心線に対して対称な構造をもつ。したがって、アレイ導波路203の中心に高反射膜206を付加して折り返せば、図16(b)のように入力導波路 $I_1 \sim I_4$ と出力導波路 $O_5 \sim O_{11}$ を同一方向に配置することができる。こうして、所望の波長ルーティング特性を有する波長ルータを半分の寸法で作製できる。

【0065】

【発明の効果】本発明によれば、各光信号選択手段において、第1光スイッチング手段を経てただ1つの波長多重光が選択され、第2光スイッチング手段を経て上記波長多重光の中からただ1つの光信号が選択されるので、スイッチング動作に関する駆動回路数を少なく(2つに)することができ、駆動回路部分の寸法や消費電力を小さくすることができる。

【0066】また、第1光スイッチング手段における本の光通過路に起因するクロストークのうち、第2光スイッチング手段で選択される光信号と同じ波長の成分は、波長ルータにより第2光スイッチング手段の異なる光通過路に導かれるので、ビート雑音を生じない。このため、第1、第2光スイッチング手段とも消光比の低い光スイッチで構成できる。また、これら両光スイッチング手段はいずれも複数の光通過路を有し、そのうちの1つのみを通過可能とする同様の機能を有するので、同一種類の光スイッチで構成できる。これにより集積化が容易となり、低コストおよび小型化が実現できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の光クロスコネクタシステムの基本構成を示す図。

【図2】 光信号選択手段の第1の構成例を示す図。

【図3】 アレイ導波路格子波長ルータ200の構成を示す図。

【図4】 アレイ導波路格子波長ルータ200の波長ルーティング特性を示す図。

【図5】 アレイ導波路格子波長ルータ200によるビート雑音の発生抑圧原理を説明する図。

【図6】 光スイッチ素子あたりの所要消光比の計算例を示す図。

【図7】 光スイッチ駆動回路の必要個数の計算例を示す図。

【図8】 図1の 1×16 光スプリッタ31~34を分割した構成例を示す図。

【図9】 波長変換器の構成例を示す図。

【図10】 光信号選択手段の第2の構成例を示す図。

【図11】 周回性をもつアレイ導波路格子波長ルータの波長ルーティング特性を示す図。

【図12】 図11の波長ルーティング特性を有する他の波長ルータの構成を示す図。

【図13】 他の波長ルーティング特性の例を示す図。

【図14】 光信号選択手段の第3の構成例を示す図。

【図15】 光信号選択手段の第4の構成例を示す図。

【図16】 11×11 のアレイ導波路格子波長ルータと反射型との関係を説明する図。

【図17】 11×11 のアレイ導波路格子波長ルータの波長ルーティング特性を示す図。

【図18】 波長多重技術を用いた従来の光クロスコネクタシステムの構成例を示す図。

【図19】 光信号選択手段を用いた従来の光クロスコネクタシステムの構成例を示す図。

【図20】 4×1 の光スイッチ511~544の構成例を示す図。

【図21】 4×1 の光スイッチ511~544におけるクロストークを説明する図。

【図22】 石英導波路マッハツェンダ干渉計形の 2×1 光スイッチ素子の基本構成を示す図。

【図23】 可変波長選択素子611~644の構成例およびそのクロストークを説明する図。

【図24】 テープ型4芯光ファイバを用いた2次元ファイバアレイによる配線例を示す図。

【図25】 図1の光スプリッタと光信号選択手段との間をテープ型4芯光ファイバを用いた2次元ファイバアレイにより配線した構成例を示す図。

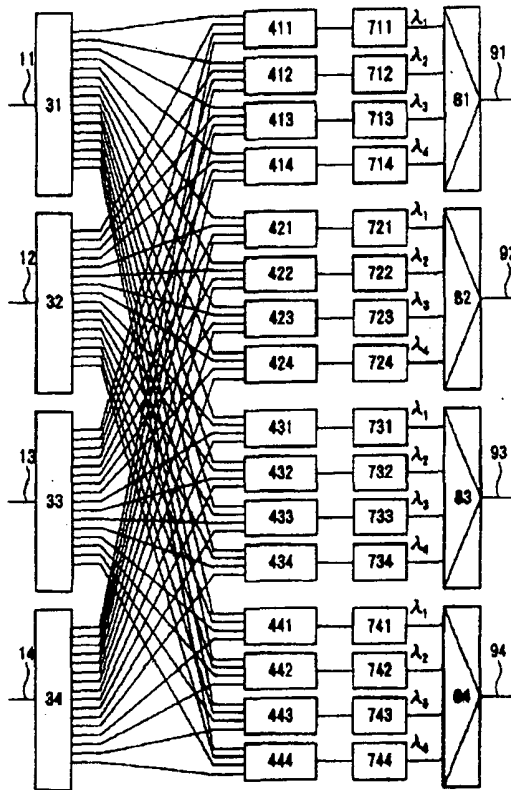
【符号の説明】

- 11~14 入力光ファイバ
- 21~24 1×4 の光分波器
- 30 16×16 の光スイッチ
- 31~34 1×16 の光スプリッタ
- 81~84 4×1 の光合波器
- 91~94 出力光ファイバ
- 100, 110, 120 光スイッチ素子アレイ
- 101~104, 111~117 光スイッチ素子
- 151~153 2×1 光スイッチ素子
- 161, 162 方向性結合器
- 163, 164 単一モード導波路
- 165 薄膜ヒータ
- 200, 210 アレイ導波路格子波長ルータ
- 201 入力導波路
- 202 第1のスラブ導波路
- 203 導波路アレイ
- 204 第2のスラブ導波路
- 205 出力導波路
- 206 高反射膜
- 220 反射型アレイ導波路格子波長ルータ
- 221~224 光分波器

19

225~228 光合波器
 301, 302 光モードコンバイナ
 311, 312 光スイッチ駆動回路
 321, 322 セレクタ
 411~414, 421~424 光信号選択手段
 431~434, 441~444 光信号選択手段
 511~514, 521~524 4×1の光スイッチ
 531~534, 541~544 4×1の光スイッチ
 601 1×4の光分波器

【図1】



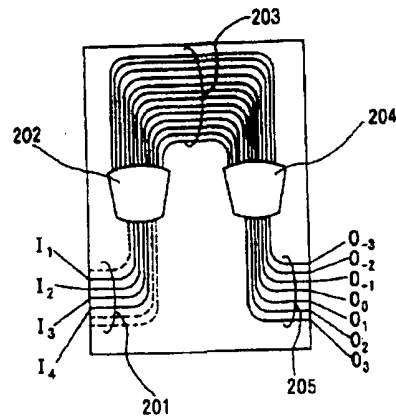
【図4】

| | | 出力導波路 | | | | | | | |
|-------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-------------|
| | | 0 ₋₃ | 0 ₋₂ | 0 ₋₁ | 0 ₀ | 0 ₁ | 0 ₂ | 0 ₃ | |
| 入力導波路 | I ₁ | λ_2 | λ_1 | λ_0 | λ_3 | λ_2 | λ_1 | λ_0 | λ_4 |
| | I ₂ | λ_1 | λ_0 | λ_3 | λ_2 | λ_1 | λ_0 | λ_4 | λ_5 |
| | I ₃ | λ_0 | λ_3 | λ_2 | λ_1 | λ_0 | λ_4 | λ_5 | λ_6 |
| | I ₄ | λ_3 | λ_2 | λ_1 | λ_0 | λ_4 | λ_5 | λ_6 | λ_7 |

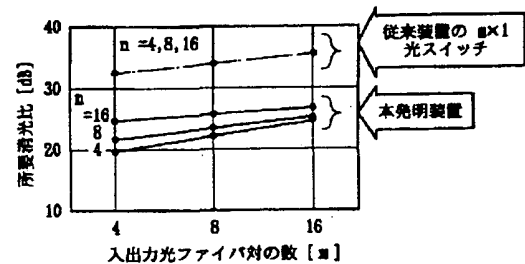
20

602 4×1の光スイッチ
 611~614, 621~624 可変波長選択素子
 631~634, 641~644 可変波長選択素子
 711~714, 721~724 波長変換器
 731~734, 741~744 波長変換器
 701 半導体レーザアレイ
 702~705 1×4の光スプリッタ
 706 光受信器
 707 光変調器

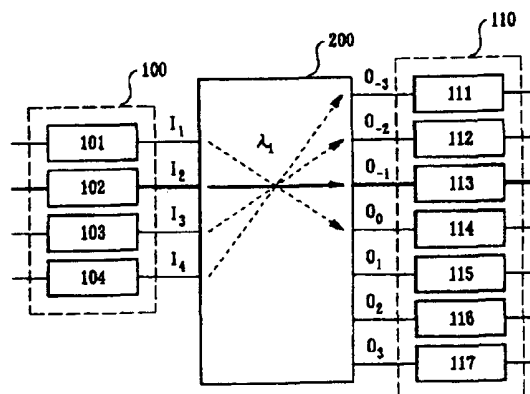
【図3】



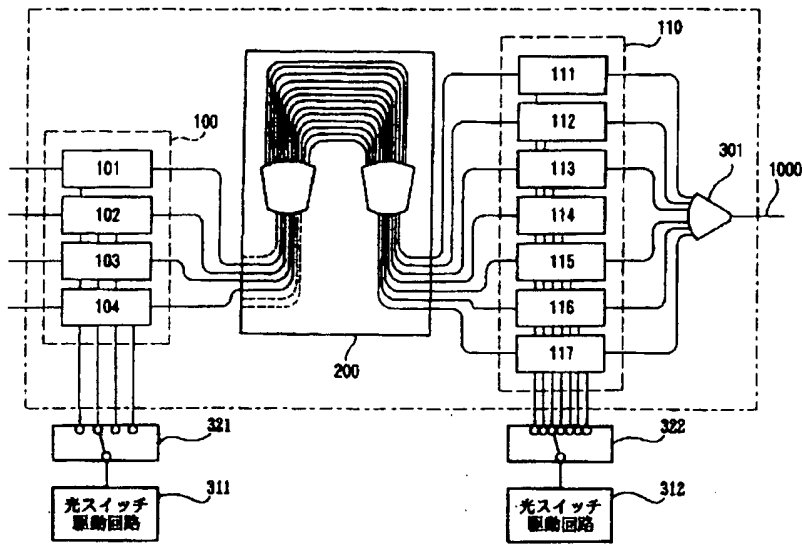
【図6】



【図5】



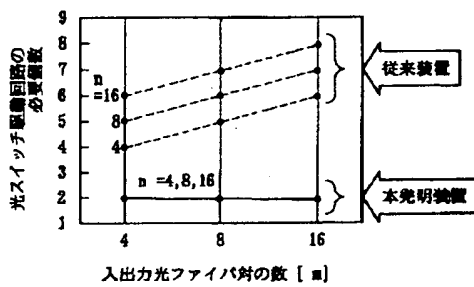
【図2】



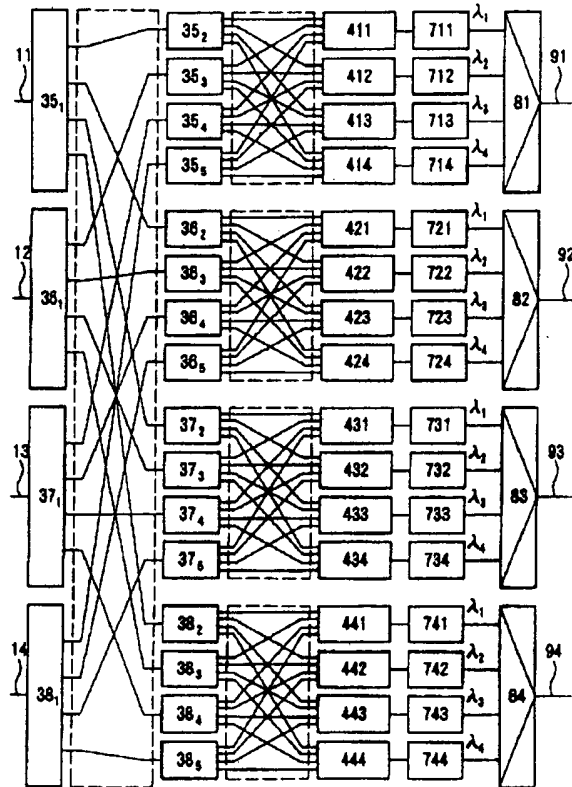
【図11】

| | | 出力導波路 | | | |
|-------|-------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | | 0_0 | 0_1 | 0_2 | 0_3 |
| 入力導波路 | I_1 | λ_1 | λ_2 | λ_3 | λ_4 |
| | I_2 | λ_2 | λ_3 | λ_4 | λ_1 |
| | I_3 | λ_3 | λ_4 | λ_1 | λ_2 |
| | I_4 | λ_4 | λ_1 | λ_2 | λ_3 |

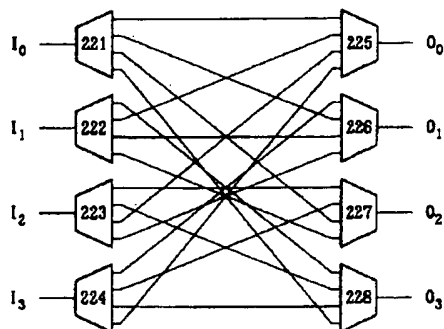
【図7】



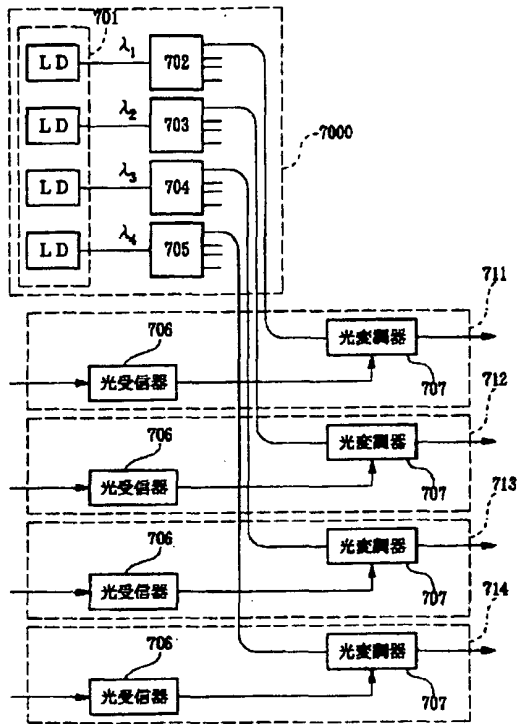
【図8】



【図12】



【図9】

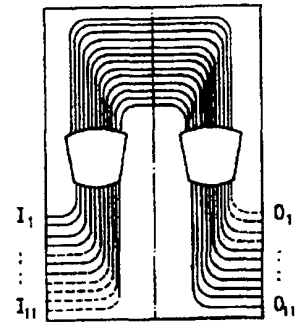


【図13】

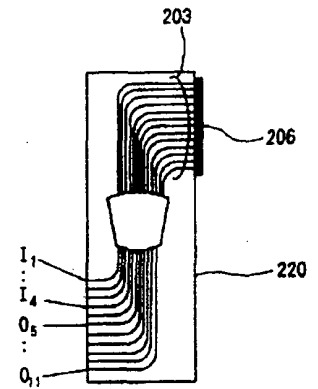
| | | 出力導波路 | | | |
|-------|-------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | | 0_0 | 0_1 | 0_2 | 0_3 |
| 入力導波路 | I_1 | λ_1 | λ_2 | λ_3 | λ_4 |
| | I_2 | λ_4 | λ_3 | λ_2 | λ_1 |
| | I_3 | λ_2 | λ_1 | λ_4 | λ_3 |
| | I_4 | λ_3 | λ_4 | λ_1 | λ_2 |

【図16】

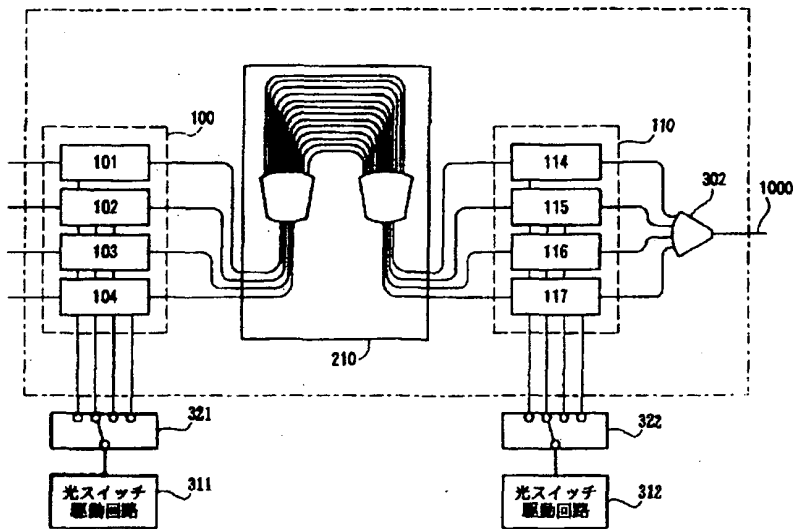
(a)



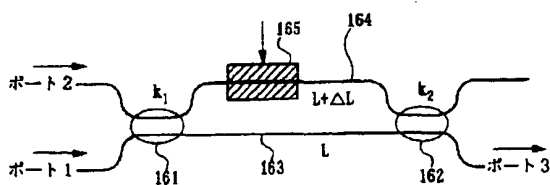
(b)



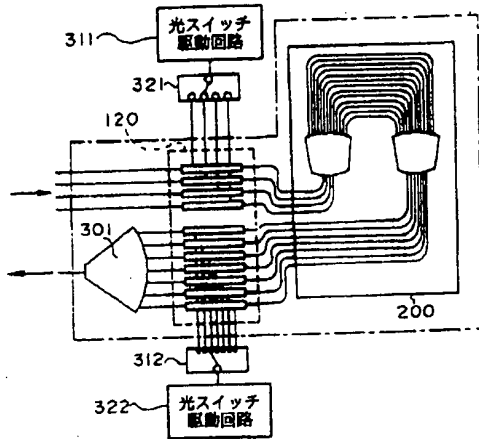
【図10】



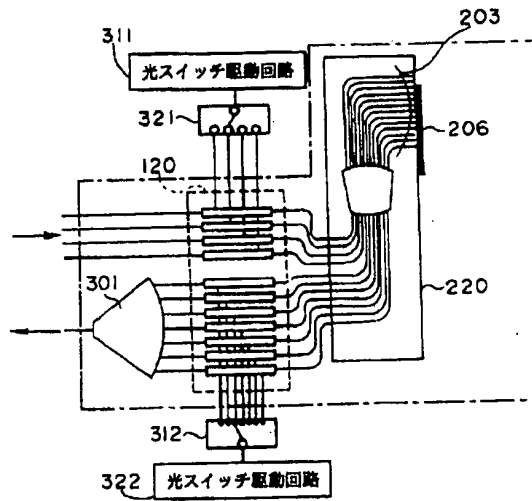
【図22】



【図14】



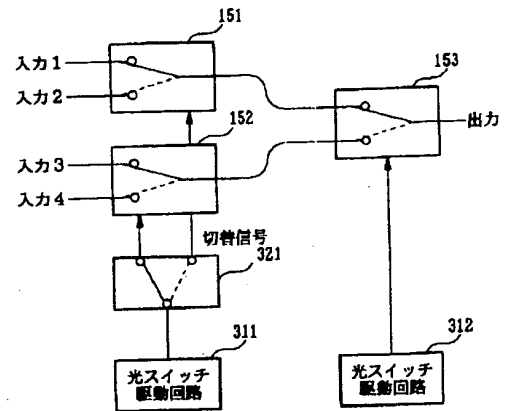
【図15】



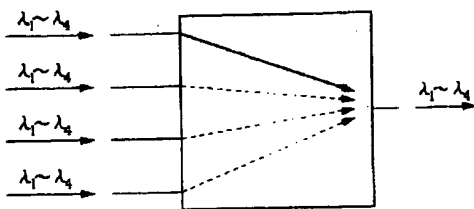
【図17】

| | | 出力導波路 | | | | | | | | | | | |
|-------|-----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|----------------|
| | | 0 ₁ | 0 ₂ | 0 ₃ | 0 ₄ | 0 ₅ | 0 ₆ | 0 ₇ | 0 ₈ | 0 ₉ | 0 ₁₀ | 0 ₁₁ | |
| 入力導波路 | I ₁ | λ_4 | λ_5 | λ_4 | λ_3 | λ_2 | λ_1 | λ_0 | λ_1 | λ_2 | λ_3 | λ_4 | λ_5 |
| | I ₂ | λ_5 | λ_4 | λ_3 | λ_2 | λ_1 | λ_0 | λ_1 | λ_2 | λ_3 | λ_4 | λ_5 | λ_6 |
| | I ₃ | λ_4 | λ_3 | λ_2 | λ_1 | λ_0 | λ_1 | λ_2 | λ_3 | λ_4 | λ_5 | λ_6 | λ_7 |
| | I ₄ | λ_3 | λ_2 | λ_1 | λ_0 | λ_1 | λ_2 | λ_3 | λ_4 | λ_5 | λ_6 | λ_7 | λ_8 |
| | I ₅ | λ_2 | λ_1 | λ_0 | λ_1 | λ_2 | λ_3 | λ_4 | λ_5 | λ_6 | λ_7 | λ_8 | λ_9 |
| | I ₆ | λ_1 | λ_0 | λ_1 | λ_2 | λ_3 | λ_4 | λ_5 | λ_6 | λ_7 | λ_8 | λ_9 | λ_{10} |
| | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ |
| | I ₁₁ | λ_4 | λ_5 | λ_6 | λ_7 | λ_8 | λ_9 | λ_{10} | λ_{11} | λ_{12} | λ_{13} | λ_{14} | λ_{15} |

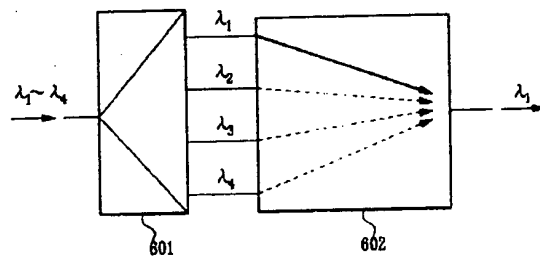
【図20】



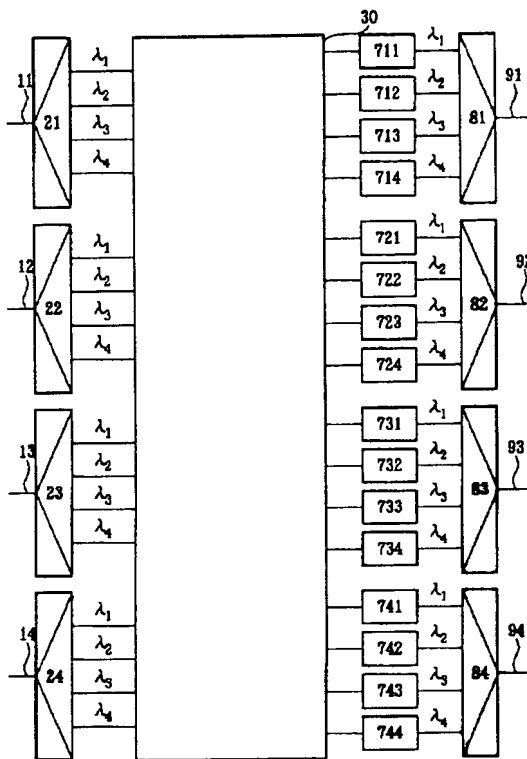
【図21】



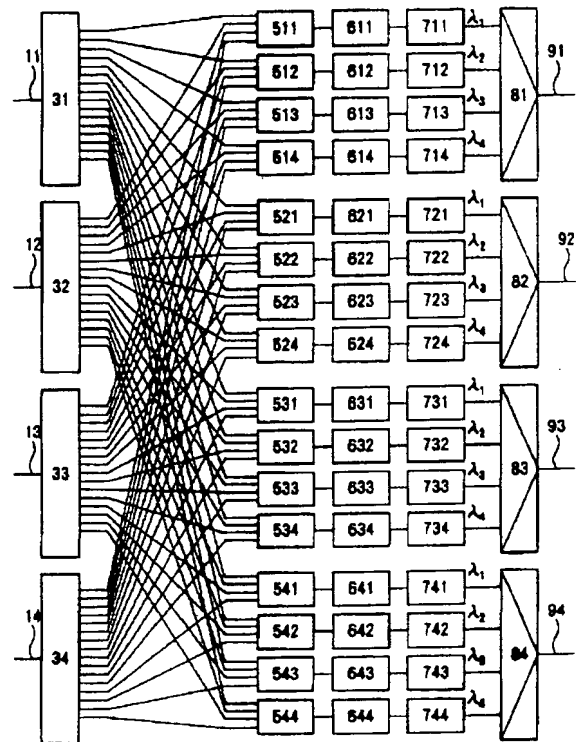
【図23】



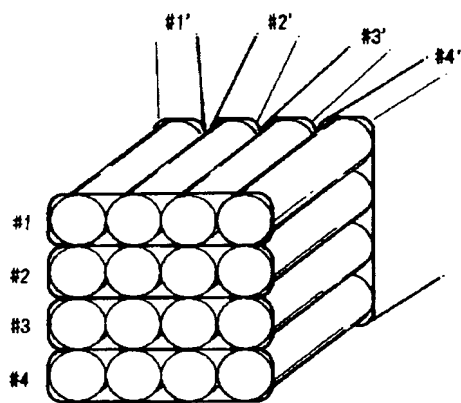
【図 18】



【図 19】



【図 24】



【図 25】

